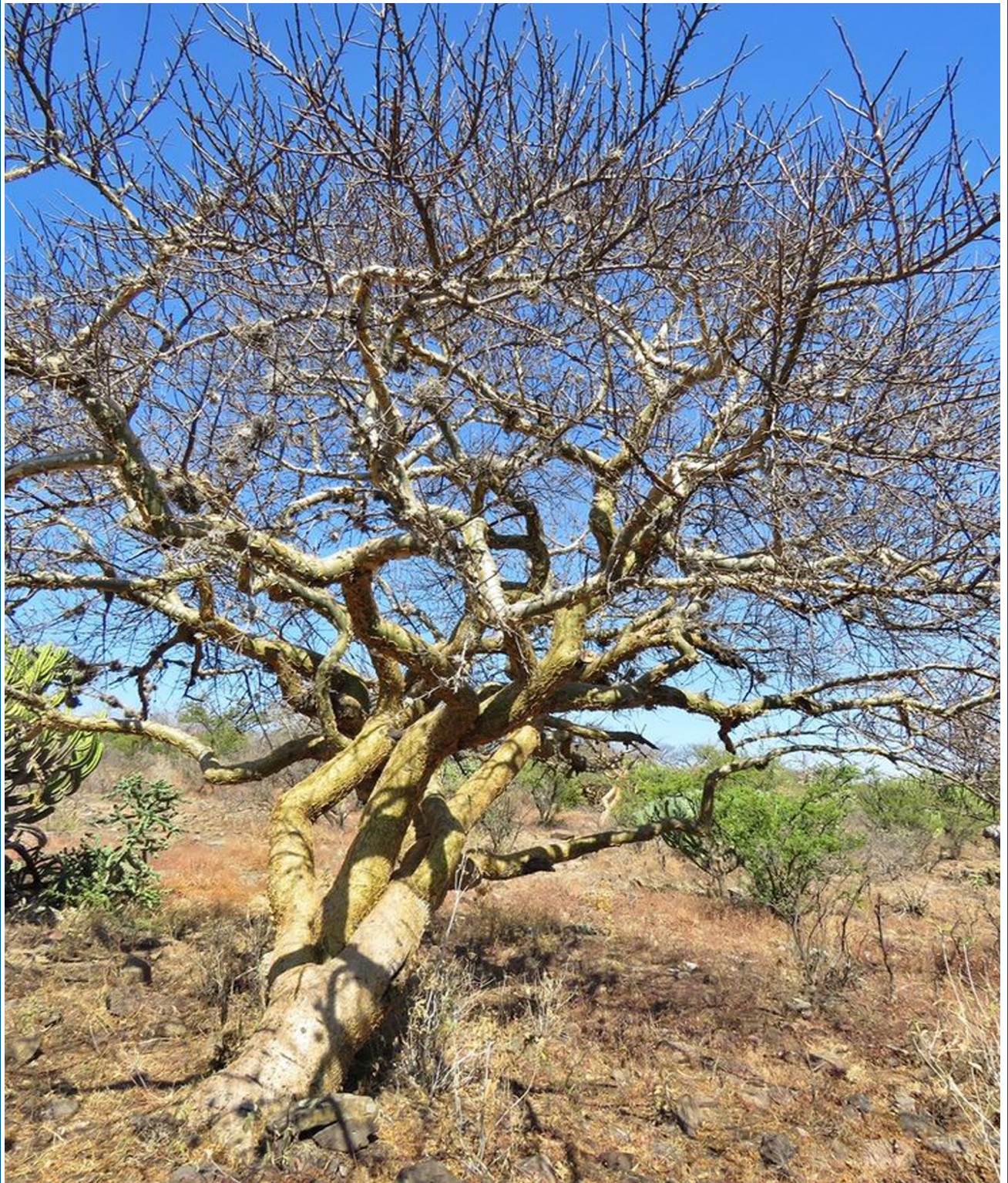


# POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768

ISSN 2395-9525



Núm. 60

 **CONAHCYT**  
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Julio 2025

PÁG.

CONTENIDO

- 1 *Mammillaria scoria* (cactaceae) una nueva especie de Querétaro, México  
*Mammillaria scoria* (Cactaceae) a new species from Querétaro, México  
Pedro González-Zamora | David Aquino | Daniel Sánchez
- 15 Revisión del género *Karwinskia* (Rhamnaceae) en México  
Review of the *Karwinskia* genus (Rhamnaceae) in Mexico  
Rafael Fernández Nava | María de la Luz Arreguín Sánchez
- 39 Diversidad florística de las áreas verdes urbanas de Miahuatlán, una ciudad pequeña de Oaxaca, México  
Floristic diversity of the urban green areas of Miahuatlán, a small city from Oaxaca, Mexico  
Víctor Gutiérrez Pacheco | Deisy Coromoto Rebolledo López
- 61 Caracterización morfológica de especies del género *Hylocereus* (Cactaceae) en una unidad de cultivo localizada en Molcaxac, Puebla, México  
Morphological characterization of species of the genus *Hylocereus* (Cactaceae) in a cultivation unit located in Molcaxac, Puebla, Mexico  
Vianey del Rocío Torres Pelayo
- 79 Estandarización del proceso de diafanización vegetal en las especies: *Adiantum pedantum* L. (Pteridaceae), *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott (Nephrolepidaceae) y una Spermatophyta *Pyracantha koidzumii* Hayata Rehder Rosaceae  
Standardization of the plant diaphanization process; of *Adiantum pedantum* L. (Pteridaceae), *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott (Nephrolepidaceae) and one Spermatophyta *Pyracantha koidzumii* Hayata Rehder (Rosaceae)  
Ruth Concepción Márquez Juárez | Arantxa Chowell-López | Diego Martínez Mata | Gabriela Sánchez Fabila Sánchez Fabila | Roberto Moreno Colín | Pilar Amellali Badillo-Suárez | Irma Estrella Beatriz Manuell Cacheux | Rogelio Monterrubio Valdivia
- 91 Análisis de la estructura de un bosque en una región del suroeste del estado de Durango  
Analysis of the structure of a forest in a southwestern region of the state of Durango  
Manuel Antonio Díaz-Vásquez | Pedro Antonio Domínguez-Calleros | Norberto Domínguez-Amaya | Héctor Manuel Loera-Gallegos | Jesús Alejandro Soto-Cervantes
- 107 Estructura y diversidad arbórea de una selva mediana perennifolia en el complejo ecoturístico Agua Selva, Tabasco, México  
Tree structure and diversity of a medium evergreen forest in the Agua Selva ecotourism complex, Tabasco, Mexico  
Manuel Pérez de la Cruz | Josué García León | José del Carmén Gerónimo Torres | Facundo Sánchez Gutiérrez | Miguel Alberto Magaña Alejandro | Aracely de la Cruz Pérez
- 123 Diversidad del sotobosque; un atributo de evaluación en reforestaciones utilizadas como estrategias de restauración forestal  
Understory diversity; an evaluation attribute in reforestations used as a forest restoration strategy  
Francisca Ofelia Plascencia Escalante | Isidoro Herrera Ávila | Marfín Pérez Suárez | Patricia Hernández De La Rosa | Gregorio Ángeles Pérez
- 141 Estructura y diversidad arbórea bajo dos esquemas de manejo forestal e influencia de la orientación geográfica en un bosque de Durango, México  
Tree structure and diversity under two forest management schemes and the influence of geographic orientation in a forest in Durango, Mexico  
José de Jesús Graciano Luna | Eduardo Alanís Rodríguez | Oscar Aguirre Calderón | César Martín Cantú Ayala | José Yerena Yamalle | Cristian Martínez Adriano | José Luján Soto
- 163 Reserva de carbono orgánico y nitrógeno en Luvisol bajo diferentes usos de suelo en Oaxaca, México  
Organic carbon and nitrogen reserve in Luvisol under different land uses in Oaxaca, México  
Celestino Sandoval García | Israel Cantú Silva
- 177 Estimación de carbono a nivel árbol individual en bosque natural mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT)  
Carbon estimation at individual tree level in natural forest using unmanned aerial vehicles (UAV)  
Jaime Briseño Reyes | Susana Isabel Hinojosa-Espinoza | José Javier Corral-Rivas | Jesús Aguirre-Gutiérrez | Daniel José Vega-Nieva | Héctor Manuel De los Santos Posadas
- 199 Variación morfométrica y espacial urbana de tres especies arbóreas en función del ancho de camellón en calles de la ciudad de San Luis Potosí, México  
*Morphometric and urban spatial variation of three tree species in relation to street median width in the city of San Luis Potosí Mexico*  
Andrea Candia Lomelí | Carlos Renato Ramos Palacios | Jonathan Hammurabi González Lugo | Fredy Alexander Alvarado Roberto
- 229 Descripción inicial de la fenología de *Quercus durifolia* Seemen ex Loes. árbol endémico de la Sierra Madre Occidental  
Initial description of the phenology of *Quercus durifolia* Seemen ex Loes. endemic tree of the Sierra Madre Occidental  
Rosa Elvira Madrid Aispuro | José Ángel Prieto Ruíz | Arnulfo Aldrete | Silvia Salcido Ruiz | Eduardo Daniel Vivar Vivar | Laura Elena Martínez Nevárez
- 245 Registro polínico en miel de *Apis mellifera* L. de dos localidades de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México  
Pollen record on honeybee honey of *Apis mellifera* L. of Sierra of Manantlan Biosphere Reserve, Jalisco, México  
Xochilt Morales Najarro | Iris Grisel Galván Escobedo | Monserrat Vázquez Sánchez | Montserrat Medina Acosta

PÁG.

CONTENIDO

- 263 Efecto de complejos orgánicos en la micropropagación de *Phalaenopsis* var. Dudu  
Effect of organic complexes on micropropagation of *Phalaenopsis* var. Dudu  
Amaury Arzate Fernández | Sandra Martínez Martínez | Tomás Norman Mondragón | María Mariezcurrena Berazain | Arely Piña Sampedreño
- 273 Evaluación de las respuestas de tres variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculadas con bacterias cuando se cultivan en condiciones de estrés por aguas residuales y sulfato de cobre.  
Evaluation of the responses of three tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.) inoculated with bacteria when grown under stress conditions due to wastewater and copper sulfate  
Abdul Khalil Gardezi | Leticia Manuela Inzunza Medina | Guillermo Carrillo Castañeda | Hector Manuel Ortega Escobar | oscar raul mancilla villa | Juan Enrique Rubiños Panta | Jorge flores Velazquez | Mora Meraz Maldonado | Sergio Roberto Marquez Berber | Hector Flores Magdaleno | Gabriel Haro Aguilar
- 291 Especies de *Meloidogyne* asociadas a cultivos hortícolas en el Valle de Tepeaca, Puebla, México  
Perineal patterns and isozyme phenotypes for the identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in vegetables from the Tepeaca Valley, Puebla, Mexico  
María Gabriela Medina Canales | Ana Karen Alquicira Jimenez | Norma García Aguilar | Ilia Mariana Escobar Ávila | Alejandro Tovar Soto
- 307 Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en el estado nutrimental del nopal-verdura (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill variedad Milpa Alta  
Effect of soil physical and chemical properties on the nutritional status of nopal-vegetable (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill variety Milpa Alta  
Bertha Patricia Zamora Morales | Aurelio Báez Pérez | Leticia Bonilla-Valencia | Jorge Artemio Zegbe Domínguez | Marisela Cristina Zamora Martínez | Abel Quevedo-Nolasco
- 325 Evaluación fitoquímica de extractos de la resina de *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl.  
Phytochemical evaluation of resin extracts of *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl.  
Luis Antonio Flores-Hernández | Fanny Imelda Pastenes-Felizola | Fanny Imelda Pastenes-Felizola | Jose Luis Díaz-Núñez | Pablo Noé Núñez-Aragón
- 337 Callogénesis y análisis fitoquímico de *Euphorbia nutans* Lag.  
Callogenesis and phytochemical analysis of *Euphorbia nutans* Lag.  
Daniel Aguilar Jiménez | Benito Reyes Trejo | José Luis Rodríguez De la O | Juan Martínez Solís
- 355 Evaluación de dos métodos de desinfección de sustratos para la producción de *Pleurotus ostreatus*  
Evaluation of two substrate disinfection methods for the production of *Pleurotus ostreatus*  
Rosa Elena Hernández Hernández | Veronica Rosales Martinez | Carolina Flota Bañuelos | Mónica Leticia Osnaya González | Porfirio Morales Almora
- 367 Conservación genómica de dos especies del orden Asparagales con cariotipo bimodal, empleando hibridación genómica *in situ* (GISH)  
Genomic conservation of two species of the order Asparagales with bimodal karyotype, using genomic *in situ* hybridization (GISH)  
María José García Castillo | Luis Carlos Rodríguez Zapata | Lorenzo Felipe Sanchez Teyer
- 381 Prácticas de manejo para la producción de (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) en productores del Municipio de Pungarabato, Guerrero, México  
Management practices for the production of (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) in producers of the Municipality of Pungarabato, Guerrero, Mexico  
Jaime Olivares | Santos Rodríguez Mejía | Saúl Rojas Hernández | Teolincacihualt Romero Rosales | Miguel Ángel Damian Valdéz | Vania Jiménez Lobato | Lucero Sarabia Salgado
- 395 Manejo del ramón *Brosimum alicastrum* Sw. en huertos familiares de Tzucacab, Yucatán, México  
Ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.) management in home gardens of Tzucacab, Yucatán, México  
Rosalba Esther Mex Mex | Juan José Jiménez Osornio | Patricia Irene Montañez-Escalante | Héctor Estrada Medina | Guadalupe del Carmen Reyes Solis
- 411 Rescate y conservación del conocimiento tradicional sobre plantas medicinales en la sierra de Taxco, Guerrero, México: El caso del Toronjil (*Agastache mexicana* subsp. *mexicana*)  
Rescue and conservation of traditional knowledge on medicinal plants in the Sierra de Taxco, Guerrero, Mexico: The case of Toronjil (*Agastache mexicana* subsp. *mexicana*)  
Judith Morales Barrera | Blas Cruz-Lagunas | Miguel Angel Gruintal-Santos | Mirna Vázquez-Villamar | Teolincacihualt Romero-Rosales | Saúl Rojas-Hernández | Tania de Jesús Adame Zambrano
- 441 Etnobotánica de los chiles silvestres en dos comunidades ch'oles de Tacotalpa, Tabasco, México  
Ethnobotany of wild chili peppers in two ch'ol communities of Tacotalpa, Tabasco, Mexico  
Guadalupe Morales Valenzuela | María Isabel Villegas Ramírez
- 459 Caracterización sensorial para la diferenciación de mezcal ancestral de dos zonas productoras de Oaxaca, México  
Sensory characterization for the differentiation of ancestral mezcal from two producing areas of Oaxaca, Mexico  
Susana Yareth López García | Anastacio Espejel García | Arturo Hernández Montes | Landy Hernández Rodríguez | Ariadna Isabel Barrera Rodríguez

# REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## EDITOR EN JEFE

*Rafael Fernández Nava*

## EDITORA ASOCIADA

*María de la Luz Arreguín Sánchez*

## COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

*Christiane Anderson*  
University of Michigan  
Ann Arbor, Michigan, US

*Delia Fernández González*  
Universidad de León  
León, España

*Heike Vibrans*  
Colegio de Postgraduados  
Estado de México, México

*José Angel Villarreal Quintanilla*  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
Saltillo, Coahuila, México

*Hugo Cota Sánchez*  
University of Saskatchewan  
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

*Luis Gerardo Zepeda Vallejo*  
Instituto Politécnico Nacional  
Ciudad de México, México

*Fernando Chiang Cabrera*  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México

*Claude Sastre*  
Muséum National d'Histoire Naturelle  
Paris, Francia

*Thomas F. Daniel*  
California Academy of Sciences  
San Francisco, California, US

*Mauricio Velayos Rodríguez*  
Real Jardín Botánico  
Madrid, España

*Francisco de Asis Dos Santos*  
Universidad Estadual de Feira de Santana  
Feira de Santana, Brasil

*Noemi Waksman de Torres*  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Monterrey, NL, México

*Carlos Fabián Vargas Mendoza*  
Instituto Politécnico Nacional  
Ciudad de México, México

*Julieta Carranza Velázquez*  
Universidad de Costa Rica  
San Pedro, Costa Rica

*José Luis Godínez Ortega*  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México

*Tom Wendt*  
University of Texas  
Austin, Texas, US

*José Manuel Rico Ordaz*  
Universidad de Oviedo  
Oviedo, España

*Edith V. Gómez Sosa*  
Instituto de Botánica Darwinion  
Buenos Aires, Argentina

*Edith V. Gómez Sosa*  
Instituto de Botánica Darwinion  
Buenos Aires, Argentina

*Dr. Juan Ramón Zapata Morales*  
Universidad de Guanajuato  
Guanajuato, México

*Jorge Llorente Bousquets*  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México

## DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA

*Luz Elena Tejeda Hernández*

## OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

*Pedro Aráoz Palomino*

POLIBOTÁNICA, revista botánica internacional del Instituto Politécnico Nacional, incluye exclusivamente artículos que representen los resultados de investigaciones originales en el área. Tiene una periodicidad de dos números al año, con distribución y Comité Editorial Internacional.

Todos los artículos enviados a la revista para su posible publicación son sometidos por lo menos a un par de árbitros, reconocidos especialistas nacionales o internacionales que los revisan y evalúan y son los que finalmente recomiendan la pertinencia o no de la publicación del artículo, cabe destacar que este es el medio con que contamos para cuidar el nivel y la calidad de los trabajos publicados.

## INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS

Se aceptarán aquellos originales que se ajusten a las prescripciones siguientes:

POLIBOTÁNICA incluye exclusivamente artículos que representen los resultados de investigaciones originales que no hayan sido publicados.

1. El autor deberá anexar una carta membretada y firmada dirigida al Editor, donde se presente el manuscrito, así como la indicación de que el trabajo es original e inédito, ya que no se aceptan trabajos publicados o presentados anterior o simultáneamente en otra revista, circunstancia que el autor(es) deberá declarar expresamente en la carta de presentación de su artículo.
2. Al quedar aceptado un trabajo, su autor no podrá ya enviarlo a ninguna otra revista nacional o extranjera.
3. Los artículos deberán estar escritos en español, inglés, francés o portugués. En el caso de estar escritos en otros idiomas diferentes al español, deberá incluirse un amplio resumen en este idioma.
4. Como parte de los requisitos del CONACYT, POLIBOTÁNICA ahora usa la plataforma del Open Journal System (OJS); para la gestión de los artículos sometidos a la misma. Así que le solicitamos de la manera más atenta sea tan amable de registrarse y enviar su artículo en la siguiente liga: [www.polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica](http://www.polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica)
  - a) cargar el trabajo en archivo electrónico de office-word, no hay un máximo de páginas con las siguientes características:
  - b) en páginas tamaño carta, letra times new roman 12 puntos a doble espacio y 2 cm por margen
5. Las figuras, imágenes, gráficas del trabajo deben estar incluidas en el documento de Word original:
  - a) en formato jpg
  - b) con una resolución mínima de 300 dpi y un tamaño mínimo de 140 mm de ancho
  - c) las letras deben estar perfectamente legibles y contrastadas
6. Todo trabajo deberá ir encabezado por:
  - a) Un título tanto en español como en inglés que exprese claramente el problema a que se refiere. El formato para el título es: negritas, tamaño 14 y centrado;
  - b) El nombre del autor o autores, con sus iniciales correspondientes, sin expresión de títulos o grados académicos. El formato para los autores es: alineados a la izquierda, cada uno en un párrafo distinto y tamaño 12. Cada autor debe tener un número en formato superíndice indicando a qué afiliación pertenece;
  - c) La designación del laboratorio e institución donde se realizó el trabajo. La(s) afiliación(es) debe(n) estar abajo del grupo de autores. Cada afiliación deberá estar en un párrafo y tamaño

12. Al inicio de cada afiliación estará el número en superíndice que lo relaciona con uno o más autor/es.

d) El autor para correspondencia deberá estar en el siguiente párrafo, alineado a la izquierda, tamaño 12.

7. Todo trabajo deberá estar formado por los siguientes capítulos:

a) RESUMEN y ABSTRACT. Palabras clave y Key Words. El resumen debe venir después de la afiliación de los autores, alineado a la izquierda, tamaño 12. La palabra “Resumen: / Abstract:” debe venir en negritas y con dos puntos. El texto del resumen debe empezar en el párrafo siguiente, tamaño 12 y justificado. El texto “Palabras clave / Key Words:” debe venir en negritas seguido de dos puntos. Cada una de las palabras clave deben estar separadas por coma o punto y coma, finalizadas por punto.

b) INTRODUCCIÓN y MÉTODOS empleados. Cuando se trate de técnicas o métodos ya conocidos, solamente se les mencionará por la cita de la publicación original en la que se dieron a conocer. El formato para todas las secciones en esta lista es: negritas, tamaño 16 y centrado.

c) RESULTADOS obtenidos. Presentación acompañada del número necesario de gráficas, tablas, figuras o diagramas de tamaño muy cercano al que tendrá su reproducción impresa (19 x 14 cm).

d) DISCUSIÓN concisa de los resultados obtenidos, limitada a lo que sea original y a otros datos relacionados directamente y que se consideren nuevos.

e) CONCLUSIONES.

#### ESPECIFICACIONES DE FORMATO PARA EL CUERPO DEL TRABAJO

1. Secciones/Subtítulos de párrafo: Fuente tamaño 16, centrado, en negritas, con la primera letra en mayúscula.
2. Subsecciones/Subtítulos de párrafo secundarios : Fuente tamaño 14, centrado, en negritas, con la primera letra en mayúscula. Cuando existan subsecciones de subsección formatear en tamaño 13 negrita y centrado.
3. Cuerpo del texto: Fuente tamaño 12, justificado. NO debe haber saltos de línea entre párrafos.
4. Las notas de pie de página deben estar al final de cada página, fuente tamaño 12 justificadas.
5. Cita textual con mas de tres líneas: Fuente tamaño 12, margen izquierdo de 4 cm.
6. Título de imágenes: Fuente tamaño 12, centrado y en negritas, separado por dos puntos de su descripción. Descripción de las imágenes: tamaño 12.
7. Notas al pie de las imágenes: Fuente tamaño 12 y centradas con respecto a la imagen, la primera letra debe estar en mayúsculas.
8. Imágenes: deben estar en el cuerpo del texto, insertadas en formato png o jpg, a por lo menos 300 dpi de resolución y centradas. Las imagenes deben estar en línea con el texto. Se consideran imágenes: gráficos, cuadros, fotografías, diagramas y, en algunos casos, tablas y ecuaciones.
9. Tablas de tipo texto: El título de las columnas de las tablas debe estar en negritas y los datos del cuerpo de la tabla con fuente normal. Los nombres científicos deben estar en itálicas. Se recomienda utilizar las Tablas como imágenes, estas deberán de ir centradas (a por lo menos 300 dpi de resolución).
10. Notas al pie de la tabla: Fuente tamaño 12 y centradas con respecto a la tabla, la primera letra debe estar en mayúsculas.
11. Ecuaciones pueden estar en Mathtype 1 o en imagen. En este último caso, seguir instrucciones del punto 8.
12. Citas del tipo autor y año deben estar entre paréntesis, con el apellido del autor seguido por el año (Souza, 2007), primera letra en mayúscula.

- 8. LITERATURA CITADA**, Se tomara como base el Estilo APA para las Referencias Bibliográficas, formada por las referencias mencionadas en el texto del trabajo y en orden alfabético. Es obligatorio utilizar Mendeley® (software bibliográfico). El propósito de utilizar este tipo de software es asegurar que los datos contenidos en las referencias están correctamente estructurados y corresponden a las citas del cuerpo del texto.

## ESTRUCTURA Y FORMATO DE LOS AGRADECIMIENTOS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Los Agradecimientos deberán estar después de la última sección del cuerpo del texto. Esta información debe tener como título la palabra “Agradecimientos”, o su equivalente en otro idioma, en negritas, tamaño 12 y centrado. El texto de esta información debe estar en tamaño 12 justificado.
2. Las Referencias bibliográficas deben estar en orden alfabético sin salto de línea de párrafo, alineados a la izquierda, en tamaño 12.
3. Apéndices, anexos, glosarios y otros materiales deben incluirse después de las referencias bibliográficas. En caso de que estos materiales sean extensos deberán ser creados como archivos PDF.

## 9. REVISIÓN Y PUBLICACIÓN

Todos los artículos enviados a la revista para su posible publicación serán sometidos a una revisión “doble ciego”, se enviarán por lo menos a un par de árbitros, reconocidos especialistas nacionales o internacionales que los revisarán y evaluarán y serán los que finalmente recomienden la pertinencia o no de la publicación del artículo, cabe destacar que este es el medio con que contamos para cuidar el nivel y la calidad de los trabajos publicados.

Una vez aceptado el trabajo, se cobrarán al autor(es) \$299 por página más IVA, independientemente del número de fotografías que contenga.

## PUBLICATION GUIDELINES

POLIBOTÁNICA, an international botanical journal supported by the National Polytechnic Institute, only publishes material resulting of original research in the botanic area. It has a periodicity of two issues per year with international distribution and an international Editorial Committee.

All articles submitted to POLIBOTÁNICA for publication are reviewed by at least a couple of referees. National or international recognized experts will evaluate all submitted materials in order to recommend the appropriateness or otherwise of a publication. Therefore, the quality of published papers in POLIBOTÁNICA is of the highest international standards.

### FOR PUBLICATION OF ARTICLES

Originals that comply with the following requirements will be accepted:

1. POLIBOTÁNICA includes only items that represent the results of original research which have not been published. The author should attach an official and signed letter to Editor stating that the work is original and unpublished. We do not accept articles published or presented before or simultaneously in another journal, a fact that the author (s) must expressly declare in the letter.
2. When an article has been accepted, the author can no longer send it to a different national or foreign journal.
3. Articles should be written in Spanish, English, French or Portuguese. In the case of be written in

languages other than Spanish, it should include an abstract in English.

4. The article ought to be sent to the POLIBOTÁNICA's Open Journal System <http://www.polibotanica.mx/ojs> in an office-word file without a maximum number of pages with the following features:

a) on letter-size pages, Times New Roman font type, 12-point font size, double-spaced and 2 cm margin

5. The figures, images, graphics in the article must be attached as follows:

a) in jpg format

b) with a minimum resolution of 300 dpi and a minimum size of 140 mm wide

c) all characters must be legible and contrasted

6. All articles must include:

a) a title in both Spanish and English that clearly express the problem referred to. The format for this section is: bold, font size 14 and centered.;

b) the name of the author or authors, with their initials, no titles and no academic degrees. The format for this section is: font size 12, aligned to the left, each name in a different paragraph but without spaces in-between and a superscript number indicating the affiliation;

c) complete affiliations of all authors (including laboratory or research institution). The format for this section is: font size 12, aligned to the left, each name in a different paragraph but without spaces in-between and a superscript number at the beginning of the affiliation;

d) correspondence author should be in the next paragraph, font size 12 and aligned to the left.

7. All work should be composed of the following chapters:

a) RESUMEN and ABSTRACT. Palabras clave y Key Words. The format for this section is: bold, font size 12 and centered. Both words (RESUMEN: and ABSTRACT:) must include a colon, be in bold and aligned to the left. The body of the abstract must be justified and in font size 12. Both palabras clave: and keywords: must include a colon, be in bold and aligned to the left. Keywords must be separated by a comma or semicolon, must be justified and in font size 12.

b) INTRODUCTION y METHODS. In the case of techniques or methods that are already known, they were mentioned only by appointment of the original publication in which they were released.

c) RESULTS. Accompanied with presentation of the required number of graphs, tables, figures or diagrams very close to the size which will be printed (19 x 14 cm).

d) DISCUSSION. A concise discussion of the results obtained, limited to what is original and other related directly and considered new data.

e) CONCLUSIONS. The format for sections Introduction, Results, Discussion and Conclusions is: bold, font size 16 and centered.



## FORMAT SPECIFICATIONS FOR THE BODY OF WORK

1. Sections: Font size 16, centered, bold, with the first letter capitalized.
2. Subsections / Secondary Subtitles: Font size 14, centered, bold, with the first letter capitalized. When there are second grade subsections format in size 13 bold and centered.
3. Body: Font size 12, justified. There should NOT be line breaks between paragraphs.
4. Footnotes should be at the bottom of each page, font size 12 and justified.
5. Textual quotation with more than three lines: Source size 12, left margin of 4 cm.
6. Image Title: Font size 12, centered and bold, separated by two points from its description. Description of the images: size 12.
7. Images Footnotes: Font size 12 and centered with respect to the image, the first letter must be in capital letters.
8. Images: must be in the body of the text, inserted in png or jpg format, at least 300 dpi resolution and centered. Images should be in line with the text. Graphs, charts, photographs, diagrams and, in some cases, tables and equations are considered images.
9. Text Tables: Only The title of the columns of the tables must be in bold. Scientific names must be in italics. It is recommended to use the Tables as images, they should be centered (at least 300 dpi resolution).
10. Footnotes: Font size 12 and centered with respect to the table, the first letter must be in upper case.
11. Equations can be in Mathtype 1 or in image. In the latter case, follow the instructions in point 8.
12. Quotations of the author and year type must be in parentheses, with the author's last name followed by the year (Souza, 2007), first letter in capital letters.

8. LITERATURE CITED. All references must be cited using the APA stile. POLIBOTÁNICA requires the use of Mendeley® (free reference manager) for the entire bibliography.

## STRUCTURE AND FORMAT OF ACKNOWLEDGMENTS AND BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

1. Acknowledgments must be after the last section of the body of the text. This information should be titled the word "Acknowledgments", or its equivalent in another language, in bold, size 12 and centered. The text of this information must be in size 12 justified.
2. Bibliographical references should be in alphabetical order without paragraph line jump, aligned to the left, in size 12.
3. Appendices, annexes, glossaries and other materials should be included after the bibliographic references. If these materials are extensive they should be created as PDF files.

## 9. REVIEW AND PUBLICATION

All articles submitted to the journal for publication will undergo a review "double-blind", they will be sent at least a couple of referees, recognized national or international experts that reviewed and evaluated and will be finally recommended the relevance or the publication of the article, it is noteworthy that this is the means that we have to take care of the level and quality of published articles.

Once accepted the article, the author will be charged \$15 USD per text page, regardless of how many pictures it contains.

Toda correspondencia relacionada con la revista deberá ser dirigida a:

**Dr. Rafael Fernández Nava**  
Editor en Jefe de

## POLIBOTÁNICA

Departamento de Botánica  
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional  
Apdo. Postal 17-564, CP 11410, Ciudad de México

Correo electrónico:  
*polibotanica@gmail.com*  
*rfernand@ipn.mx*

Dirección Web  
*http://www.polibotanica.mx*

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

CONAHCYT, índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología.

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Google Académico - Google Scholar.

DOAJ, Directorio de Revistas de Acceso Público.

Dialnet portal de difusión de la producción científica hispana.

REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico.

LATINDEX, Sistema regional de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

PERIODICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.





**Polibotánica**

ISSN electrónico: 2395-9525

[polibotanica@gmail.com](mailto:polibotanica@gmail.com)

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

# CARACTERIZACIÓN SENSORIAL PARA LA DIFERENCIACIÓN DE MEZCAL ANCESTRAL DE DOS ZONAS PRODUCTORAS DE OAXACA, MÉXICO

## SENSORY CHARACTERIZATION FOR THE DIFFERENTIATION OF ANCESTRAL MEZCAL FROM TWO PRODUCING AREAS OF OAXACA, MEXICO

**López García, S.Y., A. Espejel García, A. Hernández Montes, A.I. Barrera Rodríguez**  
CARACTERIZACIÓN SENSORIAL PARA LA DIFERENCIACIÓN DE MEZCAL  
ANCESTRAL DE DOS ZONAS PRODUCTORAS DE OAXACA, MÉXICO  
SENSORY CHARACTERIZATION FOR THE DIFFERENTIATION OF ANCESTRAL  
MEZCAL FROM TWO PRODUCING AREAS OF OAXACA, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 60: 459-473 México. Julio 2025

DOI: 10.18387/polibotanica.60.27



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0  
Atribución-No Comercial ([CC BY-NC 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

## Caracterización sensorial para la diferenciación de mezcal ancestral de dos zonas productoras de Oaxaca, México

### Sensory characterization for the differentiation of ancestral mezcal from two producing areas of Oaxaca, Mexico

López García, S.Y.,  
A. Espejel García,  
A. Hernández Montes,  
A.I. Barrera Rodríguez

CARACTERIZACIÓN  
SENSORIAL PARA LA  
DIFERENCIACIÓN DE  
MEZCAL ANCESTRAL DE  
DOS ZONAS  
PRODUCTORAS DE  
OAXACA

CHARACTERIZATION FOR  
THE DIFFERENTIATION OF  
ANCESTRAL MEZCAL  
FROM TWO PRODUCING  
AREAS OF OAXACA

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 60: 459-473. Julio 2025

DOI:

10.18387/polibotanica.60.27

Susana Yareth López-García <https://orcid.org/0000-0002-6221-0789>

Anastacio Espejel-García / [anastacio.espejel@gmail.com](mailto:anastacio.espejel@gmail.com) 

<https://orcid.org/0000-0002-6462-6681>

Arturo Hernández-Montes <https://orcid.org/0000-0003-1502-3101>

Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo km  
38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, México, 56230

Ariadna Isabel Barrera-Rodríguez <https://orcid.org/0000-0001-7352-1091>

Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo  
km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, México, 56230

**RESUMEN:** El mezcal ancestral es una bebida tradicional producida por la destilación del jugo de agave fermentado, su calidad sensorial depende de la composición de compuestos volátiles y no volátiles, los cuales difieren respecto a la especie o variedad de agave, región y condiciones en el proceso de producción y destilación, siendo los consumidores quienes evalúan los atributos sensoriales y no sensoriales del producto, lo que no solo permite diferenciar entre los tipos de mezcal, sino que también contribuyen a preservar su autenticidad, identidad y tipicidad. El objetivo de este estudio fue identificar atributos sensoriales y no sensoriales diferenciadores del mezcal ancestral de dos zonas productoras del estado de Oaxaca (Santa María Ixcatlán y Santa Catarina Minas) y de dos especies de agave (*Agave angustifolia* y *Agave potatorum*), así como los atributos de un mezcal ancestral ideal definidos por los consumidores. Para ello, se aplicó el método CATA a consumidores de mezcal (n=100), obteniendo 16 atributos que permitieron diferenciar las cuatro muestras de mezcal ancestral. Con un panel (n=10) y mismas muestras de mezcal ancestral, se realizó un Perfil Flash basado en seis atributos consensuados, lo que demostró una mejor diferenciación por especie que por zona de producción. Se concluyó que el mezcal ancestral, dependiendo de la especie de agave utilizada en su elaboración y de la zona de producción presentó atributos sensoriales diferenciadores, los cuales podrían contribuir a fortalecer su identidad y valorización como bebida tradicional.

**Palabras clave:** bebida ancestral, atributos sensoriales, atributos no sensoriales, agaves silvestres.

**ABSTRACT:** Ancestral mezcal is a traditional beverage produced by the distillation of fermented agave juice. Its sensory quality depends on the composition of volatile and non-volatile compounds, which differ according to the species or variety of agave, region and conditions in the production process, being the consumers who evaluate the sensory and non-sensory attributes of the product, which not only allows differentiating between types of mezcal, but also contributes to preserve its authenticity and identity. The objective of this study was to identify sensory and non-sensory differentiating attributes of ancestral mezcal from two producing areas in the state of Oaxaca (Santa María Ixcatlán and Santa Catarina Minas) and two agave species (*Agave angustifolia* and *Agave potatorum*), and the attributes of an ideal ancestral mezcal. For this purpose, the CATA method was applied to mezcal consumers (n=100), obtaining sixteen attributes

that allowed differentiating the four samples of ancestral mezcal. With a panel (n=10) and the same samples of ancestral mezcal, a Flash Profile was made based on six consensus attributes, which showed a better differentiation by species than by production zone. It is concluded that ancestral mezcal, depending on the agave species used in its production and the production zone, presented differentiating sensory attributes, which could contribute to strengthen its identity and valorization as a traditional beverage.

**Key words:** ancestral beverage, sensory attributes, non-sensory attributes, wild agaves.

## INTRODUCCIÓN

El mezcal es una bebida inherente a las tradiciones y cultura de las regiones productoras de México, obtenida de la destilación de jugos de agave fermentados (Rage *et al.*, 2020). En la actualidad la producción de mezcal en México ha tenido un incremento importante, siendo el estado de Oaxaca el que tiene mayor aporte a la producción a nivel nacional (Cuevas Reyes *et al.*, 2019). El estado de Oaxaca cuenta con muchas zonas mezcaleras en los distritos de Ocotlán, Teotitlán de Flores Magón, Miahuatlán, Sola de Vega, Ejutla, Tlacolula, Tlaxiaco, Yautepec, entre otros (Pérez, 2007); en estos distritos se encuentran los municipios de Santa María Ixcatlán y Santa Catarina Minas, reconocidos como productores de mezcal ancestral. Cada región mezcalera aprovecha las especies de agave que se desarrollan en las condiciones ambientales específicas del lugar, siendo el Espadín (*Agave angustifolia*) y el Tobilá (*Agave potatorum*) las especies más utilizadas para su elaboración (Hernández-López, 2018).

La elaboración de mezcal, una bebida espirituosa tradicional incluye diferentes etapas en su proceso: cocción, molienda, fermentación y destilación. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016, esta bebida se clasifica en tres categorías según el tipo de proceso utilizado. La primera es el mezcal, que incorpora el uso de instrumentos modernos e innovaciones en las técnicas con el objetivo de optimizar el proceso. La segunda categoría es el mezcal artesanal, en el que predomina el uso de alambiques de cobre para la destilación y se conservan las prácticas tradicionales en las demás etapas del proceso. Finalmente, el mezcal ancestral se elabora mediante técnicas completamente tradicionales: la cocción del agave se realiza exclusivamente en hornos de pozo; la molienda o machacado se lleva a cabo manualmente con un mazo; la fermentación de las piñas de agave machacadas tiene lugar en tinajas de pieles de animal; y la destilación se realiza a fuego directo en olla y montera de barro. Esta última categoría se distingue por la ausencia total de maquinaria moderna, lo que permite preservar técnicas transmitidas de generación en generación.

Dado que la producción de mezcal no está completamente estandarizada, diversos factores involucrados en su elaboración como especies de agave utilizada, región de producción, técnicas de producción, palenques (fábricas de producción), maestro mezcalero, temporada de producción y zonas de corte, dan como resultado una gran variedad de tipos de mezcal con características particulares y distintivas (Pérez, 2007; Vera-Guzmán *et al.*, 2018). Al tratarse de una bebida destilada, presenta un determinado grado alcohólico y una compleja composición de compuestos volátiles y no volátiles, que le confieren atributos sensoriales (Chavez-Parga *et al.*, 2016), tales como el aroma, sabor, textura y apariencia, que son elementos esenciales para comprender las preferencias y aceptación del consumidor, además de apreciar y diferenciar entre los tipos de mezcal.

Los métodos de evaluación sensorial descriptivos rápidos se han desarrollado como alternativas a los métodos tradicionales de análisis sensorial descriptivo, eficaces para la descripción y cuantificación de características sensoriales (Lawless & Heymann, 2010; Liu *et al.*, 2018). Los métodos rápidos, como el Perfil Flash y el CATA (Check All That Apply), se han consolidado como herramientas valiosas para evaluar productos con características sensoriales complejas. Además, estos métodos consumen menos tiempo, son más flexibles y pueden utilizarse con evaluadores semiprofesionales e incluso con consumidores (Aung *et al.*, 2024; Meilgaard *et al.*, 2016). El Perfil Flash desarrollado por Dairou y Sieffermann (2002) se basa en la jerarquización de los productos para cada atributo sensorial establecido y en la presentación simultánea de todo

el conjunto de productos que permite una mejor discriminación de las diferencias sensoriales entre ellos (Liu *et al.*, 2018).

Por otro lado, el método CATA consta de cuestionarios apropiados para consumidores que contiene una lista predefinida de descriptores que puede incluir tanto atributos sensoriales y no sensoriales (hedónicos, emociones, ocasiones de uso), en este caso los productos se presentan en forma monádica, es decir, presentar un solo producto a la vez al evaluador y se les pide seleccionar todos los términos aplicables que describan al producto, esta técnica también puede incluir las puntuaciones de aceptación global y la evaluación de un producto ideal, entendido como aquel que maximiza el agrado del consumidor hacia el producto. (Adams *et al.*, 2007; Varela & Ares, 2012). CATA y Perfil Flash han sido implementados en diversos productos como: bebida de trigo, vinos y yogur (Aung *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2018; Verissimo *et al.*, 2020), por lo que resultó viable aplicarlos en mezcal ancestral, producto de alto valor cultural y económico.

En este contexto, identificar atributos sensoriales que diferencian los mezcales ancestrales de distintas regiones y especies de agave es esencial para documentar su perfil sensorial, fortalecer su identidad de origen y orientar estrategias de posicionamiento en el mercado. Además, conocer los atributos que conforman el perfil de un mezcal ancestral ideal desde la perspectiva del consumidor permite establecer criterios para la aceptación del producto, sin comprometer su autenticidad. Las hipótesis que guiaron esta investigación fueron: a) los mezcales producidos en Santa María Ixcatlán y Santa Catarina Minas presentan atributos sensoriales y no sensoriales diferenciadores atribuibles a la región de origen y a la especie de agave (*Agave angustifolia* y *Agave potatorum*); b) existen atributos sensoriales específicos que contribuyan al agrado del consumidor y que definan el perfil de un mezcal ancestral ideal.

Por lo que, los objetivos fueron identificar atributos sensoriales y no sensoriales diferenciadores de mezcal ancestral de dos zonas productoras del estado de Oaxaca (Santa María Ixcatlán y Santa Catarina Minas) y de dos especies de agave (*Agave angustifolia* y *Agave potatorum*), e identificar los atributos sensoriales de un mezcal ancestral ideal.

## MÉTODOS

### Objeto de estudio

Se emplearon cuatro muestras de mezcal ancestral provenientes de dos especies de agave; *Agave potatorum* (Tobalá) y *Agave angustifolia* (Espadín). Dos muestras de mezcal, una de cada especie, fueron recolectadas en palenques ubicados en Santa María Ixcatlán (17° 51' 09'' N, 97° 11' 33'' O, 1885 msnm), las otras dos muestras, una de cada especie, fueron recolectadas en Santa Catarina Minas (16° 46' 41'' N, 96° 36' 58'' O, 1562 msnm), zonas productoras de mezcal ancestral en el estado de Oaxaca, durante el mes de abril de 2020. La obtención de las muestras se hizo mediante un muestreo dirigido, seleccionando aquellos palenques con mayor experiencia y antigüedad en la producción de mezcal ancestral en cada una de las zonas mencionadas, fueron recolectadas en botellas de vidrio color ámbar y almacenados a temperatura de refrigeración (5 °C), para posteriormente ser evaluadas.

### Grupos focales

Se realizaron tres grupos focales: el primero estuvo integrado por cuatro consumidores y cuatro maestros mezcaleros, el segundo incluyó nueve maestros mezcaleros y el tercero ocho consumidores, cuyo fin fue generar descriptores y/o atributos sensoriales y no sensoriales (Meilgaard *et al.*, 2016) para ser utilizados en los métodos CATA y Perfil Flash. En todos los grupos se siguió la misma dinámica; se proporcionaron a cada integrante cuatro muestras de mezcal ancestral sin identificar y se les solicitó que anotaran en una hoja en blanco los atributos presentes en cada muestra que permitieran diferenciarlas entre sí. Posteriormente, se efectuó un consenso entre todos los integrantes de cada panel para obtener los atributos utilizados en las metodologías mencionadas, cada uno de los atributos se agruparon en categorías sensoriales (aparición, aroma, sabor) y no sensoriales (hedónicos, emociones, ocasiones de uso).

### **CATA (Check All That Apply)**

Se reclutó un total de 100 consumidores habituales de mezcal de ambos géneros (25% mujeres y 75% hombres). Todos los participantes eran mayores de edad, con edades comprendidas entre los 18 a 65 años. A cada consumidor se le presentaron de manera monádica las cuatro muestras de mezcal ancestral: Tosalá de Santa Catarina Minas, Tosalá de Santa María Ixcatlán, Espadín de Santa Catarina Minas y Espadín de Santa María Ixcatlán, y se les proporcionó los cuestionarios CATA con 30 atributos sensoriales y no sensoriales (aroma a piña de maguey cocida, aroma a piña de maguey quemado, aroma a humo, aroma a alcohol, aroma a madera, sabor dulce, sabor amargo, sabor agrío, sabor a maguey verde, sabor a maguey maduro, sabor a piña de maguey cocida, sabor a piña de maguey quemado, sabor a penca, sabor ferroso, sabor humo, sabor alcohol, sabor a palma, sabor a bagazo, sabor astringente, sabor a barro, picante, rasposo, quemante, agradable, sabroso, natural, relajado, feliz, euforia e identidad de origen), para evaluar todos los términos aplicables a cada muestra y la aceptación global para cada mezcal usando una escala hedónica del 1 al 9, donde 1 hizo referencia a “me disgusta extremadamente” y 9 a “me gusta extremadamente” (Aung *et al.*, 2024; Wong *et al.*, 2023).

La evaluación de las muestras se realizó en un sitio con iluminación adecuada, temperatura ambiente (22 °C), libre de olores y aromas. Se dispuso de agua y galletas habaneras clásicas (Gamesa®, México) entre la evaluación de muestras para eliminar sabores residuales (Jauregui-García *et al.*, 2024).

El análisis del conjunto de datos CATA se realizó mediante el programa XLSTAT versión 2019 (Addinsoft, EE. UU.), se calculó la frecuencia de uso de cada atributo incluido en el cuestionario CATA utilizado por los consumidores para describir cada muestra y se aplicó la prueba de Q de Cochran para identificar diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras para cada atributo (Meyners, 2016). Posteriormente, se aplicó un análisis de correspondencia (AC) para determinar las diferencias entre cada mezcal en cuanto a sus perfiles sensoriales basado en la tabla de frecuencias de cada descriptor que resultó significativo y empleando la distancia de Hellinger para cuantificar las similitudes entre variables. Con los descriptores y la aceptabilidad global se elaboró una gráfica de escalamiento multidimensional (MDS), y se aplicó un análisis de penalización (AP) para evaluar el impacto de cada atributo significativo incluido en el cuestionario CATA sobre el aumento o disminución de la aceptabilidad en relación con el mezcal ideal (Ares *et al.*, 2014; Aung *et al.*, 2024).

### **Perfil Flash**

El método empleado fue el descrito por Dairou y Sieffermann (2002) con modificaciones, que consistieron en reclutar a diez panelistas consumidores de mezcal. A cada panelista de mezcal se le presentaron de manera simultánea cuatro muestras de mezcal ancestral: Tosalá de Santa Catarina Minas, Tosalá de Santa María Ixcatlán, Espadín de Santa Catarina Minas y Espadín de Santa María Ixcatlán, y se les dio a conocer doce atributos sensoriales significativos (aroma a piña de maguey cocida, aroma a madera, sabor dulce, sabor amargo, sabor agrío, sabor a maguey verde, sabor a maguey maduro, sabor a piña de maguey cocida, sabor a piña de maguey quemado, sabor ferroso, sabor humo, sabor astringente) resultantes del método CATA. En una segunda sesión, a cada panelista se le presentaron al mismo tiempo las cuatro muestras y se les pidió jerarquizar las muestras para cada uno de los atributos, mediante una escala ordinal del 1 al 4, se asignó el valor 4 a la muestra con la intensidad mayor del atributo y 1 a la intensidad menor. La jerarquización se hizo por triplicado (Torres-Salas & Hernández-Montes, 2021).

Los datos de las tres repeticiones se analizaron usando un diseño completamente al azar, con la finalidad de evaluar la capacidad discriminativa de cada panelista respecto a cada uno de los atributos del mezcal ancestral, así como su selección. El análisis se realizó utilizando el programa Minitab® 19 (Pennsylvania, EE. UU.). Posteriormente, con datos de los panelistas seleccionados se aplicó un Análisis Procrustes Generalizado (APG) (Torres-Salas & Hernández-Montes, 2021) mediante el programa XLSTAT versión 2019 (Addinsoft, EE. UU.).

## RESULTADOS

### CATA (Check All That Apply)

En la tabla 1 se presentan los 16 atributos sensoriales y no sensoriales que resultaron significativos ( $p \leq 0.05$ ) según la prueba Q de Cochran ( $p \leq 0.05$ ), de un total de 30 términos empleados en el cuestionario CATA. Estos atributos fueron: aroma a piña de maguey cocida, aroma a madera, sabor dulce, sabor amargo, sabor agrío, sabor a maguey verde, sabor a maguey maduro, sabor a piña de maguey cocida, sabor a piña de maguey quemado, sabor ferroso, sabor humo, sabor astringente, quemante, sabroso, natural e identidad de origen, cada uno de estos atributos permitió a los consumidores percibir diferencias entre los mezcales ancestrales evaluados. Entre ellos, los atributos con mayores frecuencias de uso fueron: aroma a piña de maguey cocida, sabor a maguey maduro, sabor a piña de maguey cocida y natural.

El atributo sabor dulce permitió clasificar los mezcales en dos grupos (a,b), mostrando las mayores frecuencias en aquellos elaborados con agave Tobalá. En contraste, el sabor astringente se asoció con una mayor frecuencia a los mezcales producidos con agave Espadín, lo que sugiere que los consumidores relacionaron estos atributos con la especie de agave utilizada en la elaboración.

Cabe destacar que para los términos identidad de origen y natural se asociaron con mayor frecuencia a los mezcales de Santa María Ixcatlán, este resultado podría estar relacionado con una posible mayor familiaridad de los consumidores con los productos de esta región o al valor histórico y simbólico que dicha zona ha construido en torno a su producción de mezcal.

**Tabla 1.** Resultados de la prueba de Q de Cochran y frecuencia de los términos usados por los consumidores (n=100) en el cuestionario CATA para la comparación de cuatro muestras de mezcal ancestral.  
**Table 1.** Results of Cochran's Q test and frequency of terms used by consumers (n=100) in the CATA questionnaire for the comparison of four samples of ancestral mezcal.

Atributos	p-valor (Q de Cochran)	Santa María Ixcatlán		Santa Catarina Minas	
		Tobalá	Espadín	Tobalá	Espadín
Aroma a piña de maguey cocida	<b>0.000</b>	0.760 (b <sup>2</sup> )	0.630 (ab)	0.450 (a)	0.640 (b)
Aroma a piña de maguey quemado	0.066	0.210 (a)	0.360 (a)	0.290 (a)	0.330 (a)
Aroma a humo	0.081	0.410 (a)	0.290 (a)	0.380 (a)	0.270 (a)
Aroma a alcohol	0.264	0.320 (a)	0.400 (a)	0.410 (a)	0.410 (a)
Aroma a madera	<b>0.000</b>	0.140 (a)	0.350 (b)	0.320 (b)	0.150 (a)
Sabor dulce	<b>0.001</b>	0.580 (b)	0.350 (a)	0.460 (ab)	0.310 (a)
Sabor amargo	<b>0.010</b>	0.320 (a)	0.380 (ab)	0.410 (ab)	0.550 (b)
Sabor agrío	<b>0.000</b>	0.170 (a)	0.430 (b)	0.200 (a)	0.250 (a)
Sabor a maguey verde	<b>0.001</b>	0.340 (a)	0.440 (ab)	0.430 (a)	0.630 (b)
Sabor a maguey maduro	<b>0.000</b>	0.700 (b)	0.570 (ab)	0.480 (a)	0.360 (a)
Sabor a piña de maguey cocida	<b>0.000</b>	0.770 (b)	0.600 (ab)	0.490 (a)	0.540 (a)
Sabor a piña de maguey quemado	<b>0.006</b>	0.310 (a)	0.530 (b)	0.370 (ab)	0.470 (ab)
Sabor a penca	0.347	0.330 (a)	0.330 (a)	0.410 (a)	0.350 (a)
Sabor ferroso	<b>0.000</b>	0.090 (a)	0.150 (ab)	0.520 (c)	0.290 (b)
Sabor humo	<b>0.004</b>	0.460 (b)	0.330 (ab)	0.340 (ab)	0.230 (a)
Sabor alcohol	0.078	0.280 (a)	0.410 (a)	0.340 (a)	0.380 (a)
Sabor a palma	0.085	0.170 (a)	0.240 (a)	0.130 (a)	0.140 (a)



Atributos	p-valor (Q de Cochran)	Santa María Ixcatlán		Santa Catarina Minas	
		Tobalá	Espadín	Tobalá	Espadín
Sabor a bagazo	0.160	0.170 (a)	0.260 (a)	0.290 (a)	0.230 (a)
Sabor astringente	<b>0.000</b>	0.400 (ab)	0.590 (b)	0.310 (a)	0.620 (b)
Sabor a barro	0.450	0.300 (a)	0.280 (a)	0.220 (a)	0.250 (a)
Picante	0.337	0.200 (a)	0.250 (a)	0.270 (a)	0.290 (a)
Rasposo	0.301	0.220 (a)	0.330 (a)	0.300 (a)	0.300 (a)
Quemante	<b>0.000</b>	0.290 (a)	0.420 (a)	0.420 (a)	0.610 (b)
Agradable	0.434	0.590 (a)	0.610 (a)	0.600 (a)	0.510 (a)
Sabroso	<b>0.002</b>	0.610 (b)	0.570 (ab)	0.380 (a)	0.430 (ab)
Natural	<b>0.000</b>	0.820 (c)	0.750 (bc)	0.520 (a)	0.620 (ab)
Relajado	0.514	0.600 (a)	0.530 (a)	0.510 (a)	0.520 (a)
Feliz	0.120	0.520 (a)	0.520 (a)	0.470 (a)	0.380 (a)
Euforia	0.562	0.130 (a)	0.190 (a)	0.130 (a)	0.160 (a)
Identidad de origen	<b>0.000</b>	0.570 (b)	0.430 (ab)	0.240 (a)	0.310 (a)

<sup>2</sup>Proporciones con distinta letra en la misma fila, son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

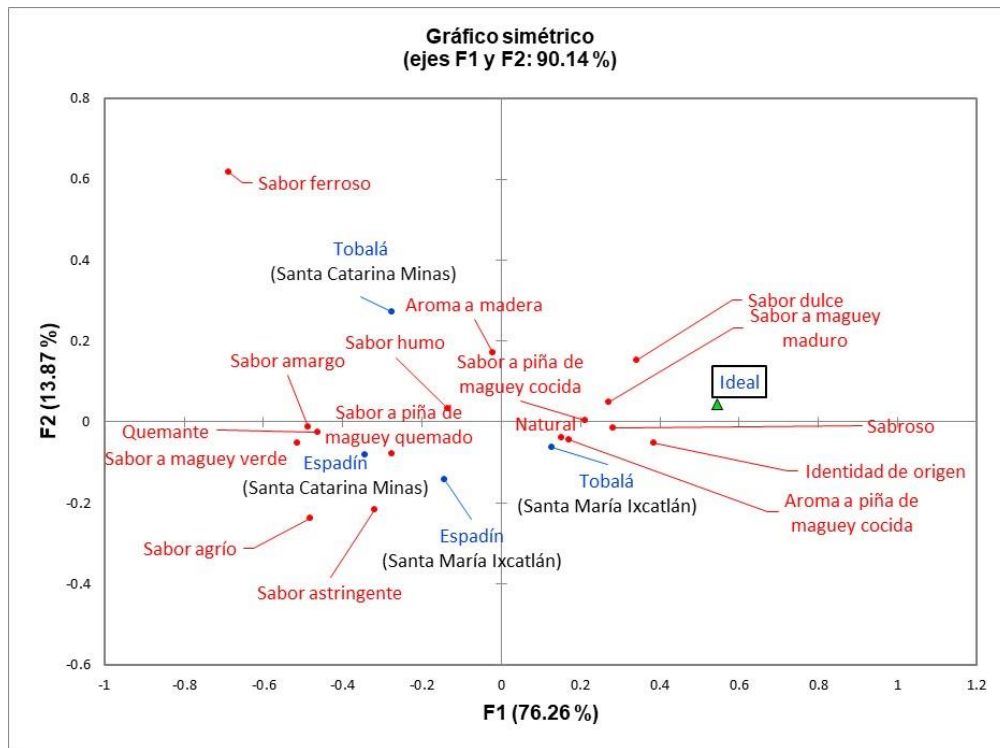
Fuente: Elaboración propia.

<sup>2</sup>Proportions with different letter in the same row are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

Source: Own elaboration.

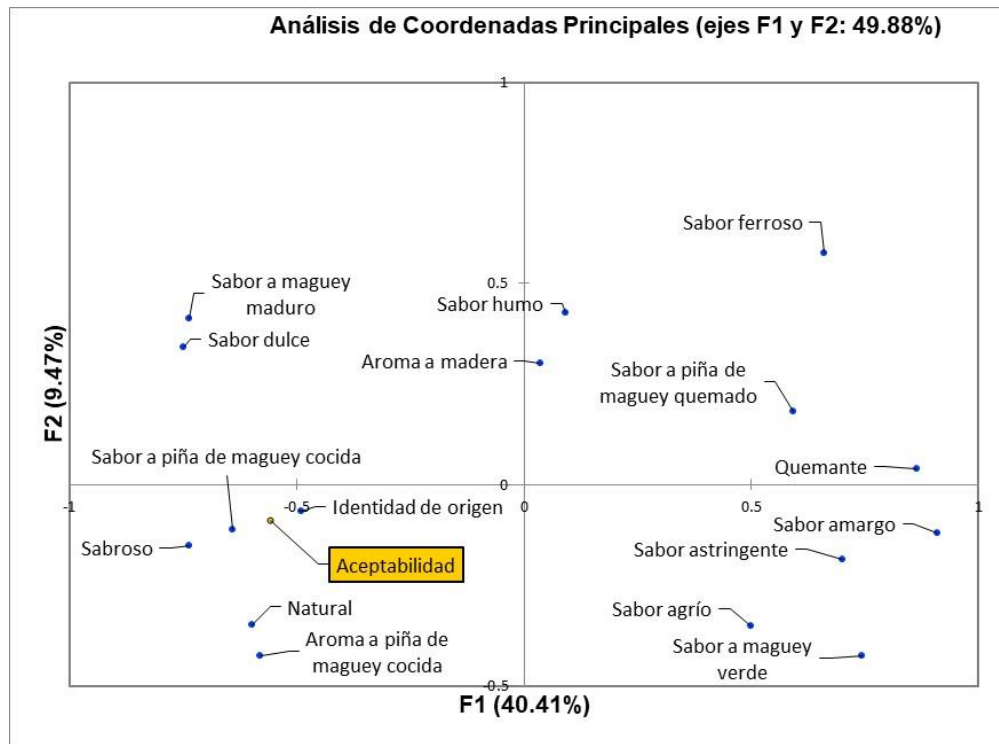
Se realizó un Análisis de Correspondencia (AC) con el objetivo de evaluar la relación de los atributos sensoriales y no sensoriales significativos, cuatro mezcales ancestrales y el perfil del mezcal ideal según los consumidores (Figura 1). Los dos primeros componentes explicaron el 90.14% de la variabilidad total de los datos, lo que indicó una representación adecuada.

Los resultados muestran que el mezcal ancestral Tobalá de Santa María Ixcatlán se caracterizó por los atributos aroma a piña de maguey cocida y natural. En contraste, el mezcal ancestral Tóbala de Santa Catarina Minas se caracterizó por un sabor ferroso. Asimismo, los mezcales ancestrales elaborados con agave Espadín, tanto de Santa María Ixcatlán y Santa Catarina Minas su representación fue cercana en el espacio bidimensional y se describieron por los atributos: sabor a piña de maguey quemado, sabor astringente y sabor agrío. Además, el perfil sensorial del mezcal ancestral ideal, según los consumidores se definió por sabor dulce, sabor a maguey maduro, sabor a piña de maguey cocida, sabroso e identidad de origen (Figura 1).



**Figura 1.** Representación de las muestras de mezcal ancestral (●), los atributos sensoriales y no sensoriales (●) y el mezcal ideal (▲), en las primeras dos dimensiones del Análisis de Correspondencia (AC). Fuente: Elaboración propia.  
**Figure 1.** Representation of ancestral mezcal samples (●), sensory and non-sensory attributes (●) and ideal mezcal (▲), in the first two dimensions of the Correspondence Analysis (CA). Source: Own elaboration.

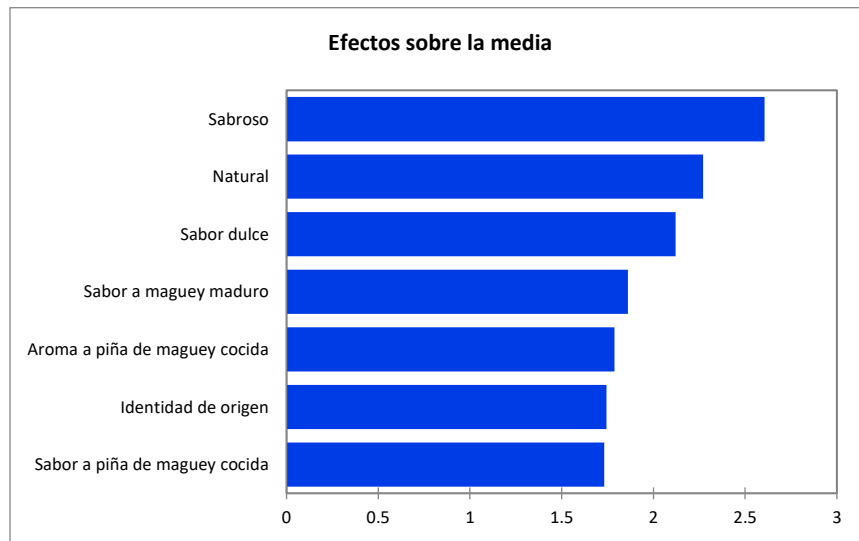
Mediante un análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) se examinó la correlación de los atributos significativos y la aceptabilidad global (Figura 2). Los resultados mostraron que el sabor a piña de maguey cocida e identidad de origen estuvieron fuertemente correlacionados con la aceptabilidad, lo que sugiere que los mezcales asociados a estos atributos fueron los más preferidos por los consumidores. En contraste, los atributos sabor ferroso, sabor amargo y sensación quemante presentaron una baja correlación con la aceptabilidad. En este contexto, el mezcal ancestral Tobalá de Santa María Ixcatlán que se caracterizó por los atributos que estuvieron fuertemente correlacionados con la aceptabilidad se considera como la muestra más preferida según la evaluación CATA.



**Figura 2.** Gráfica de las asociaciones entre atributos sensoriales y no sensoriales (●) y la aceptación global de mezcales ancestrales basada en el escalamiento multidimensional (MDS). Fuente: Elaboración propia.

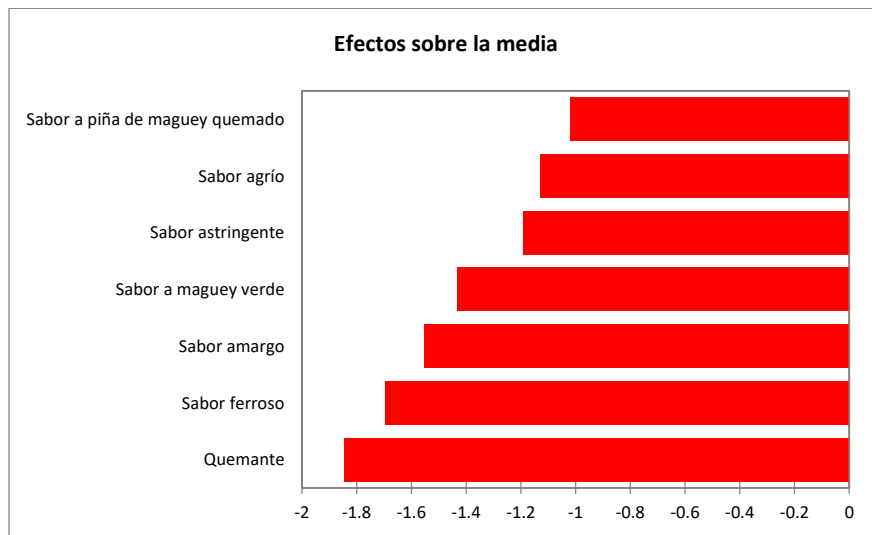
**Figure 2.** Graph of associations between sensory and non-sensory attributes (●) and global acceptance of ancestral mezcals based on multidimensional scaling (MDS). Source: Own elaboration.

El análisis de penalización (PA), que evalúa el efecto de los atributos sobre el agrado (aceptabilidad), se aplicó a los datos obtenidos mediante el cuestionario CATA con el propósito de identificar el efecto positivo o negativo de cada atributo sobre la media de aceptabilidad (Figura 3 y 4). Los atributos aroma a piña de maguey cocida, sabor dulce, sabor a maguey maduro, sabor a piña de maguey cocida, sabroso, natural e identidad de origen mostraron una penalización positiva significativa ( $p \leq 0.0001$ ) en la media de aceptabilidad. Sabor amargo, sabor agrio, sabor a maguey verde, sabor a piña de maguey quemado, sabor ferroso, sabor astringente y quemante presentaron una penalización negativa significativa ( $p \leq 0.0001$ ) en la media de aceptabilidad, sugiriendo que su presencia reduce el agrado del consumidor hacia el mezcal ancestral.



**Figura 3.** Representación gráfica de los atributos con efecto positivo sobre la aceptabilidad de mezcal ancestral, según el análisis de penalización. Fuente: Elaboración propia.

**Figure 3.** Graphic representation of the attributes with a positive effect on the acceptability of ancestral mezcal, according to the penalty analysis. Source: Own elaboration.

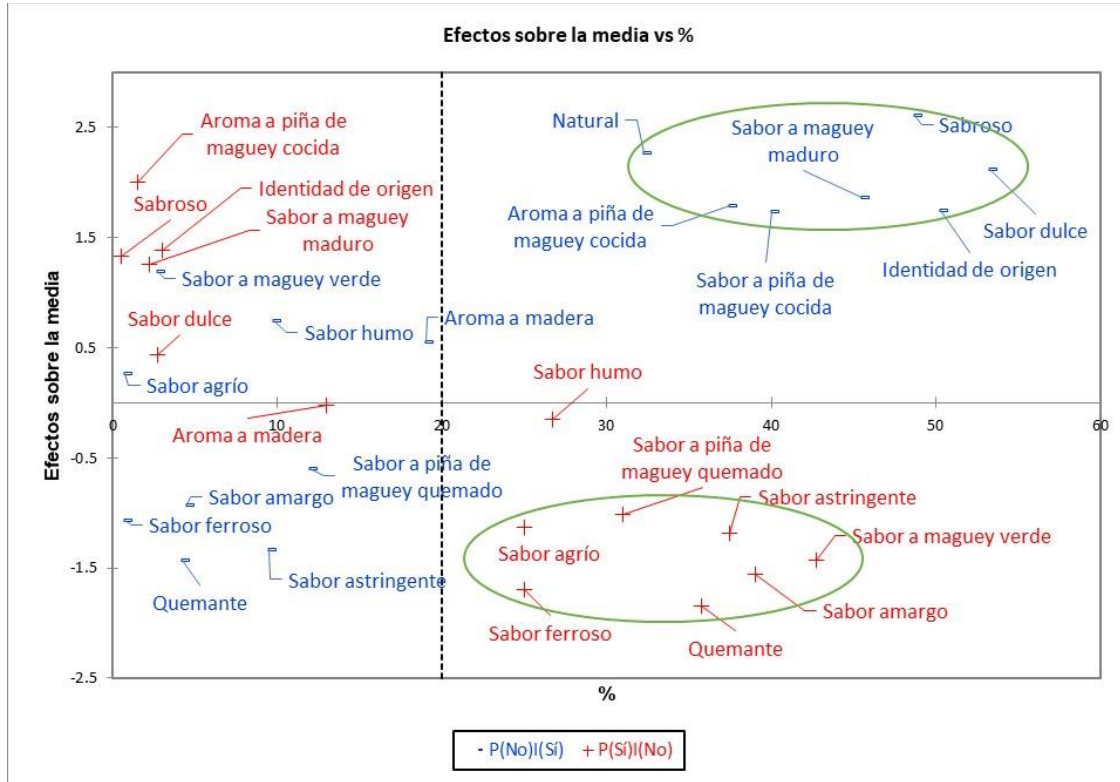


**Figura 4.** Representación gráfica de los atributos con efecto negativo sobre la aceptabilidad de mezcal ancestral, según el análisis de penalización. Fuente: Elaboración propia.

**Figure 4.** Graphic representation of the attributes with a negative effect on the acceptability of ancestral mezcal, according to the penalty analysis. Source: Own elaboration.

En la Figura 5 se muestra la representación gráfica de los resultados del análisis de penalización, basada en la incongruencia del uso de los atributos. Esta incongruencia se refiere a situaciones en las que un atributo fue utilizado exclusivamente para caracterizar el mezcal ancestral ideal (P[No]I[Si]), interpretado como un atributo deseable y representados en la parte superior derecha

del gráfico; o bien cuando el atributo fue utilizado exclusivamente para las muestras reales de mezcal ancestral (P[Si]I[No]), interpretado como un atributo no deseado o que debería evitarse en el mezcal ancestral ideal y representados en la parte inferior derecha del gráfico.



**Figura 5.** Gráfica de efectos sobre la media contra porcentaje de consumidores en los que se produjo incongruencia. Fuente: Elaboración propia.

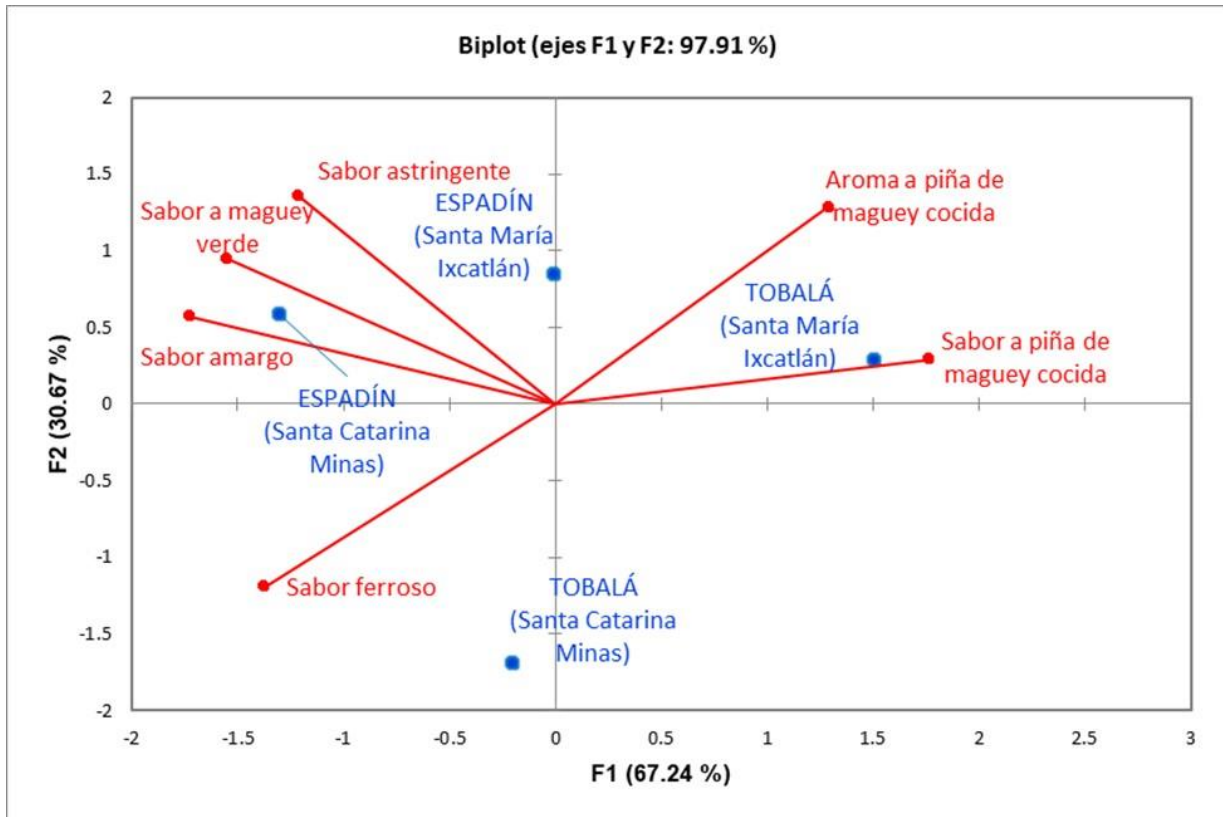
**Figure 5.** Graph of effects on the mean versus percentage of consumers in which incongruence occurred. Source: Own elaboration.

### Perfil Flash

Derivado del análisis de datos obtenidos mediante el método de Perfil Flash, se seleccionaron 8 panelistas y 6 atributos (aroma a piña de maguey cocida, sabor amargo, sabor a maguey verde, sabor a piña de maguey cocida, sabor ferroso y sabor astringente) que permitieron diferenciar los mezcales ancestrales. El APG mostró que la transformación óptima de la configuración consensuada explicó en los dos primeros componentes el 97.91% de la variabilidad total de los datos (Figura 6). El primer componente explicó un 67.24%, con mayores cargas asociadas a los atributos sabor a piña de maguey cocida, sabor amargo y sabor a maguey verde. El segundo componente explicó un 30.67% y las cargas mayores se asociaron con los atributos aroma a piña de maguey cocida, sabor astringente y sabor ferroso.

En cuanto a la distribución de mezcales ancestrales en el gráfico, el mezcal Tobalá de Santa María Ixcatlán se caracterizó por los atributos sabor a piña de maguey cocida y aroma a piña de maguey cocida, el mezcal Tobalá de Santa Catarina Minas se caracterizó principalmente por el atributo sabor ferroso. En cambio, los atributos sabor a maguey verde, sabor amargo y sabor astringente estuvieron más asociados con los mezcales elaborados a partir de agave Espadín, independientemente de su zona de producción. Estos resultados sugieren que el perfil sensorial de estos mezcales ancestrales evaluados está influenciado principalmente por la especie de agave

utilizada en su producción. Destacando que los elaborados a partir de agave Tobalá están más asociados a atributos agradables. Esta diferenciación puede ser clave para comprender las preferencias del consumidor y valorización del mezcal ancestral según su origen botánico y geográfico.



**Figura 6.** Representación gráfica de los mezcales ancestrales (●) y atributos (●) con los dos primeros ejes principales del Análisis Procrustes Generalizado (APG). Fuente: Elaboración propia.

**Figure 6.** Graphic representation of ancestral mezcals (●) and attributes (●) with the first two main axes of the Generalized Procrustes Analysis (GPA). Source: Own elaboration.

## DISCUSIÓN

En los últimos años, se ha observado un aumento en la demanda de bebidas tradicionales, acompañado de una creciente preocupación por parte de los consumidores respecto a la garantía e información sobre los métodos de producción y el origen del producto (Cerjak *et al.*, 2011; Jordana, 2000). Este interés responde a un proceso de revalorización cultural que privilegia a productos con fuerte vínculo territorial y autenticidad. Los consumidores suelen reconocer a estas bebidas tradicionales con atributos sensoriales y no sensoriales, relacionados con su composición química (compuestos volátiles y no volátiles) y con su identidad regional, esta combinación de factores contribuye a su aceptación, percepción y actitud positiva hacia tales productos (Guerrero *et al.*, 2009). En este contexto el mezcal ancestral es un caso ejemplar de una bebida tradicional, representativa de la cultura mexicana y con características sensoriales particulares.

En línea con esta perspectiva, los resultados obtenidos a través del método CATA evidenciaron 16 atributos sensoriales y no sensoriales que permitieron a los consumidores diferenciar entre las muestras de mezcal ancestral. De manera similar, en un estudio realizado por Verissimo et al. (2020) utilizando el mismo método para caracterizar vinos tropicales (*Vitis vinifera* L.) se identificaron siete atributos (color rojizo, claro, aroma a alcohol, sabor agrio, sabor astringente, sabor a alcohol y sabor persistente), que permitieron diferenciar las muestras evaluadas. La identificación de atributos discriminantes no solo evidencia la riqueza sensorial del producto a evaluar, sino que, en el caso del mezcal ancestral, estos hallazgos refuerzan su potencial como bebida sensorialmente distintiva y culturalmente significativa, consolidando su posición como una bebida tradicional con potencial de valorización por consumidores conocedores de este tipo de productos.

Los atributos identificados para mezcales ancestrales elaborados con agave Espadín, tanto de Santa María Ixcatlán como de Santa Catarina Minas fueron los atributos de sabor a piña de maguey quemada, sabor astringente y sabor agrio. Estos atributos son similares con los reportados por Pablo (2019), quien definió el perfil sensorial de mezcales oaxaqueños provenientes de Villa Sola de Vega y San Pedro Quiatoni, ambas reconocidas zonas productoras de mezcal en Oaxaca. Además, Vera Guzmán et al. (2009) al realizar la determinación de ácido acético en mezcal elaborado a partir de las especies Espadín (*Agave angustifolia*) y Tobilá (*Agave potatorum*), reportaron concentraciones mayores en la primera especie, compuesto al que se le puede atribuir el sabor agrio percibido en las muestras evaluadas en el presente estudio. Cabe señalar que las diferencias en el perfil sensorial de los mezcales pueden atribuirse a diversos factores relacionados, tales como las condiciones y prácticas de producción en cada zona de producción, saber-hacer del maestro mezcalero y especie o variedad de agave utilizada (Hernández-López, 2018). En este caso particular, la especie de agave mostró ser un factor determinante.

El perfil sensorial del mezcal ancestral ideal, según los consumidores, evidenció atributos que desempeñan un papel clave en la preferencia por esta bebida destilada. Asimismo, determinar la penalización positiva o negativa en la media de aceptabilidad permitió identificar aquellos atributos que actúan como atributos impulsores o inhibidores del agrado o satisfacción del consumidor hacia el mezcal ancestral (Adams et al., 2007; Meyners et al., 2013; Varela & Ares, 2012). Estos resultados sugieren que los participantes en la evaluación mostraron mayor preferencia por las muestras de mezcal ancestral elaborados de agave Tobilá, específicamente por atributos como sabor dulce, sabor a maguey maduro, sabor a piña de maguey cocida, aroma a piña de maguey cocida, sabroso, natural e identidad de origen. Un estudio similar realizado por Aung et al. (2024) en bebidas de trigo germinado, observaron que aroma a té de cebada, sabor a nuez y sabor puro mostraron una penalización positiva, mientras que sabor amargo, sabor sofocante y sabor astringente una penalización negativa, reduciendo la satisfacción del consumidor hacia la bebida.

El Perfil Flash en este estudio permitió una diferenciación basada en 6 atributos consensuados, conjuntamente los resultados mostraron una mejor diferenciación por especie de agave que por región de producción. Estos hallazgos determinaron que la especie de agave es un factor determinante en el perfil sensorial del mezcal ancestral, independientemente de la zona de producción. Al igual que en CATA, el mezcal elaborado con agave Tobilá tiende asociarse con atributos sensoriales más valorados por los consumidores, lo que podría explicar su creciente apreciación en mercados especializados (CRM, 2023). Esta diferenciación del perfil sensorial, no solo permite identificar los atributos presentes en las muestras, sino que también ofrece una base objetiva para la valorización comercial del mezcal ancestral según su origen botánico y geográfico.

## CONCLUSIÓN

Los consumidores identificaron atributos sensoriales y no sensoriales que diferenciaron al mezcal ancestral según la especie de agave utilizada (*Agave angustifolia* y *Agave potatorum*) y la región de producción (Santa María Ixcatlán y Santa Catarina Minas), mediante el uso de los métodos

CATA y Perfil Flash. Se concluye que la especie de agave fue el factor que más influyó en el perfil sensorial del mezcal ancestral por encima del origen geográfico. Los mezcales elaborados de agave Espadín se vincularon a atributos como sabor agrío, sabor amargo y sabor astringente, en cambio, los mezcales elaborados con agave Tobilá fueron los preferidos por los consumidores, al estar más asociados a atributos como sabor dulce, sabor a maguey maduro, sabor y aroma a piña de maguey cocida, así como atributos no sensoriales como natural e identidad de origen. Estas diferencias no solo reflejan la composición química del agave y cultural del mezcal ancestral, sino también su potencial de valorización como producto tradicional diferenciado. Por lo tanto, el reconocimiento de esta caracterización sensorial puede fortalecer la identidad de origen del mezcal ancestral y contribuir a estrategias de protección, comercialización y posicionamiento en mercados especializados.

## LITERATURA CITADA

- Adams, J., Williams, A., Lancaster, B., & Foley, M. (2007). Advantages and uses of check-all-that-apply response compared to traditional scaling of attributes for salty snacks. *In 7th Pangborn Sensory Science Symposium. Minneapolis, USA, 12-16 August 2007.*
- Ares, G., Dauber, C., Fernández, E., Giménez, A., & Varela, P. (2014). Penalty analysis based on CATA questions to identify drivers of liking and directions for product reformulation. *Food Quality and Preference*, 32, 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.05.014>
- Aung, T., Kim, B. R., & Kim, M. J. (2024). Check-all-that-apply (CATA)- and rate-all-that-apply (RATA)-based sensometric assessment of germinated-wheat beverages. *Journal of Food Science and Technology*, 61(5), 897-906. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05884-z>
- Cerjak, M., Karolyi, D., & Kovačić, D. (2011). Effect of information about pig breed on consumers' acceptability of dry sausage. *Journal of Sensory Studies*, 26(2), 128-134. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2011.00329.x>
- Chavez-Parga, M. D. C., Pérez Hernández, E., & González Hernández, J. C. (2016). Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 148-164. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552>
- Consejo Regulador del Mezcal (CRM). (2023). Informe estadístico 2020.
- Cuevas Reyes, V., Sánchez Toledano, B. I., Borja Bravo, M., Espejel García, A., Sosa Montes, M., Barrera Rodríguez, A. I., & Saavedra García, M. J. (2019). Caracterización de la producción de maguey en el Distrito de Miahuatlán, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10, 365-377. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342019000200365&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000200365&nrm=iso)
- Dairou, V., & Sieffermann, J.-M. (2002). A Comparison of 14 Jams Characterized by Conventional Profile and a Quick Original Method, the Flash Profile. *Journal of Food Science*, 67(2), 826-834. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10685.x>
- Guerrero, L., Guàrdia, M. D., Xicola, J., Verbeke, W., Vanhonacker, F., Zakowska-Biemans, S., Sajdakowska, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Contel, M., Scalvedi, M. L., Granli, B. S., & Hersleth, M. (2009). Consumer-driven definition of traditional food products and innovation in traditional foods. A qualitative cross-cultural study. *Appetite*, 52(2), 345-354. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.11.008>
- Hernández-López, J. (2018). El mezcal como patrimonio social: de indicaciones geográficas genéricas a denominaciones de origen regionales. *Em Questão*, 24(2), 404-433. <https://doi.org/10.19132/1808-5245242.404-433>
- Jauregui-García, C. Z., Hernández-Montes, A., Espejel-García, A., Hernández-Rodríguez, L., & Barrera-Rodríguez, A. I. (2024). Caracterización sensorial de vino tinto Shiraz de Parras, Coahuila, México. *Acta universitaria*, 34, 1-20. <https://doi.org/10.15174/au.2024.4182>
- Jordana, J. (2000). Traditional foods: challenges facing the European food industry. *Food Research International*, 33(3), 147-152. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00028-4)



**Recibido:**  
19/febrero/2025

**Aceptado:**  
12/junio/2025

- Liu, J., Bredie, W. L. P., Sherman, E., Harbertson, J. F., & Heymann, H. (2018). Comparison of rapid descriptive sensory methodologies: Free-Choice Profiling, Flash Profile and modified Flash Profile. *Food Research International*, 106, 892-900. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.062>
- Meilgaard, M. C., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2016). *Sensory Evaluation Techniques* (C. press, Ed. Fifth ed.).
- Meyners, M. (2016). Testing for differences between impact of attributes in penalty-lift analysis. *Food Quality and Preference*, 47, 29-33. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.11.001>
- Meyners, M., Castura, J. C., & Carr, B. T. (2013). Existing and new approaches for the analysis of CATA data. *Food Quality and Preference*, 30(2), 309-319. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.06.010>
- Pablo, M. (2019). Caracterización sensorial y química de mezcales oaxaqueños, valoración e identificación de su calidad intangible. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Agroindustrial.
- Pérez, C. (2007). Mezcales tradicionales de los pueblos de México, herencia cultural y biodiversidad. *Ciencias*, 87, 54-60.
- Rage, G., Atasi, O., Wilhelmus, M. M., Hernández-Sánchez, J. F., Haut, B., Scheid, B., Legendre, D., & Zenit, R. (2020). Bubbles determine the amount of alcohol in Mezcal. *Scientific Reports*, 10(1), 11014. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67286-x>
- Torres-Salas, V., & Hernández-Montes, A. (2021). Respuestas emocionales en consumidores de Queso de Zacazonapan y probabilidad de consumo durante maduración. *Agrociencia*, 55(3), 243-259. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i3.2416>
- Varela, P., & Ares, G. (2012). Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Research International*, 48(2), 893-908. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.037>
- Vera-Guzmán, A. M., Guzmán-Gerónimo, R. I., López, M. G., & Chávez-Servia, J. L. (2018). Volatile Compound Profiles in Mezcal Spirits as Influenced by Agave Species and Production Processes. *Beverages*, 4(1), 9. <https://www.mdpi.com/2306-5710/4/1/9>
- Vera Guzmán, A. M., Santiago García, P. A., & López, M. G. (2009). Compuestos volátiles aromáticos generados durante la elaboración de mezcal de Agave angustifolia y Agave potatorum. *Revista fitotecnia mexicana*, 32, 273-279. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802009000400005&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000400005&nrm=iso)
- Verissimo, C. M., Morais, S. D., Lima, L. L. D., Pereira, G. E., & Maciel, M. I. S. (2020). A short training as an enhancer of sensory ability: The case of red wine consumers [Article; Early Access]. *Journal of Sensory Studies*, 10, Article e12629. <https://doi.org/10.1111/joss.12629>
- Wong, B., Owens, A., Phillips, M., & Kam, R. (2023). Identifying sensory attributes of Korean rice wine (makgeolli) using sensory evaluation and chemical analysis. *Journal of Food Science*, 88(10), 4247-4261. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16762>